

Vyhodnocení 10-ti letých měření půdních vlhkostí ve vztahu k vybraným indikátorům sucha s měsíčním krokem

Evaluation of a 10-year time series measurements of soil moisture and
relationship with drought indices SPI and SPEI

Tomáš Litschmann

AMET Velké Bílovice

Abstrakt

V příspěvku je provedeno vyhodnocení 10-ti leté časové řady měření půdních vlhkostí na stejném místě pravidelně udržované zatravněné lokality. Jednotlivé měsíční hodnoty půdní vlhkosti byly za měsíce vegetačního období porovnávány s měsíčními úhrny srážek, hodnotami SPI a SPEI, přičemž byly zjištěny jen velmi slabé závislosti. Nejtěsnější závislosti se vyskytly mezi úhrnem srážek a průměrnou vlhkostí za celé vegetační období. Ukazuje se, že ačkoliv jsou srážky rozhodujícím zdrojem půdní vlhkosti, vazby mezi jejich měsíčními charakteristikami a půdní vlhkostí jsou velmi volné z důvodů schopnosti půdy zadržovat určité množství vody. Opětovné nasycování půdy vodou je závislé na vydatnosti a časovém rozložení jednotlivých dešťů, málo vydatné deště v období vysoké evapotranspirace nejsou schopny proniknout do hlubších vrstev.

Klíčová slova: půdní vlhkost, sucho, srážky, SPI, SPEI

Abstract

The contribution is an evaluation of a 10-year time series measurements of soil moisture at the same place - regularly maintained grassed sites. The individual monthly values of soil moisture were in the months of the growing season compared with monthly rainfall, SPEI and SPI values, and there was detected only very weak dependence. The closest dependence occurs between total rainfall and average humidity for the entire growing season. Although the rainfall is determinative soil moisture source, it turns out that links between their monthly soil characteristics and moisture are very weak for reasons of ability of the soil to retain a certain amount of water. Re-aerating the soil with water is dependent on the abundance and temporal distribution of each rainy season, a light rains during periods of high evapotranspiration are unable to penetrate into the deeper layers.

Key words: soil moisture, drought, precipitation, SPI, SPEI

Úvod

Sucho patří k průvodním jevům našeho klimatu a je jevem, s nímž je nutno počítat jak v zemědělské praxi, tak i ve vodním hospodářství a dalších odvětvích. Výraznost suchých období bývá různá, od krátkodobých přísušků až po několikaměsíční či dokonce roční období s nízkými úhrny srážek. Následky sucha mohou být rovněž rozdílné v závislosti na ročním období, v němž se sucho vyskytne, na sledované plodině a jejím vývojovém stadiu apod. Lze proto oprávněně i předpokládat, že metody hodnocení výraznosti sucha budou rozdílné a jejich výstupy se mohou navzájem lišit.

Ve světě byla vypracována celá řada metod na kvantifikaci sucha, přičemž ty jednodušší berou v úvahu pouze množství spadlých srážek (procenta normálu, decily, standardizovaný index srážek, efektivní srážky atd.), složitější pak uvažují i s proměnlivým vlivem teploty na výpar a další bilanční metody již přímo počítají s evapotranspirací buď standardního travního porostu anebo přímo dané plodiny (většinou sója anebo i další obiloviny).

Již samotné často používané rozdělení sucha na sucho meteorologické, agronomické, hydrologické a socioekonomické naznačuje, že výskyt sucha (popřípadě jeho závažnost), v jedné kategorii, nemusí nutně znamenat odpovídající závažnost v kategorii jiné. V předloženém příspěvku jsme se pokusili poukázat na to, jaký může být vztah mezi suchem meteorologickým, hodnoceným srážkovými úhrny a indexy SPI a SPEI v měsíčním kroku, a suchem agronomickým, hodnoceným na základě přímo měřené půdní vlhkosti, popřípadě definovaného indexu stresu. Použita je k tomu desetiletá časová řada měření půdních vlhkostí v hodinovém kroku ve dvou hloubkách na stejném místě pod pravidelně udržovaným travním porostem.

Materiál a metody

K zpracování příspěvku byly použity údaje kontinuálních desetiletých měření půdních vlhkostí pod zatravněným pozemkem v katastru obce Moravský Žižkov za období 2005 – 2014. K těmto měřením byly použity snímače VIRRIB v podlouhlé variantě umístěné ve dvou vrstvách nad sebou, přičemž svrchní snímač zabíral vrstvu 10 – 30 cm a níže umístěný vrstvu 30 – 50 cm. Registrace údajů z těchto snímačů byla v hodinovém kroku prováděna dataloggerem VIRRIBLOGGER (AMET Velké Bílovice – obr. 1). Údaje o srážkách byly získány každodenním ručním měřením srážkoměrem, údaje o teplotách vzduchu měřením dataloggerem HOBO (Onset Computer, USA) ve čtvrt hodinovém kroku.

Půdním typem na pokusném pozemku je černozem černická s hodnotami polní vodní kapacity 30 % obj., bodem vadnutí 12 obj. %. Hladina podzemní vody je v hloubce 3 – 4 m, takže nedochází k ovlivnění půdní vlhkosti ve sledovaných vrstvách kapilárním přítokem. Další důležitou skutečností, ovlivňující zasakování vláhy do půdy, je to, že pozemek nebyl nikdy v minulosti obděláván mechanizací, takže nedošlo k vytvoření umělých vrstev utužené půdy. V tab. 1 jsou uvedeny dlouhodobé průměrné teploty vzduchu a úhrny srážek pro pokusnou lokalitu. Podle Quitovy klasifikace v úpravě pro Atlas podnebí Česka (Tolasz 2007) se jedná o teplou oblast W4, podle Končkové klasifikace (opět v aktualizované úpravě pro Atlas podnebí Česka) se jedná o teplou a suchou oblast. Nedostatek srážek v letním období je jednak příčinou vzniku černozemí a současně utváří typický režim půdní vláhy, pro který je podle Bedrny a kol. (1988) charakteristická absence uvidického intervalu vlhkosti a v hlavním vegetačním období výrazný výskyt semiaridního intervalu, stejně tak i jako častý pokles vlhkosti až do aridního intervalu ve spodní vrstvě půdního profilu. Převládajícím intervalem vlhkostního režimu černozemí je semiuvidický, v sušších letech semiaridní. Z toho vyplývá, že vlhkostní režim černozemí je s ohledem na celkový rozsah vlhkosti a její pokles do suchého semiaridního až aridního intervalu z agronomického hlediska málo příznivý. V období vegetace pěstované plodiny mají téměř pravidelně nedostatek vláhy.

Tab. 1 Dlouhodobé průměry teploty a úhrnů srážek na pokusné lokalitě

charakteristika	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	rok
teplota vzduchu (1998 – 2013), °C	-1.2	0.4	4.8	11.3	15.9	19.1	20.7	20.1	15.1	9.7	4.8	-0.5	10,0
srážky (1994 – 2013), mm	27	27	37	32	58	77	71	61	54	33	34	31	543

Z naměřených údajů byly vypočítány následující charakteristiky:

- průměrné denní a měsíční vlhkosti půdy, vlhkosti půdy za vegetační období IV. – IX.
- index stresu vlhkosti půdy vyjádřený v procentech jako lineární závislost mezi bodem snížené dostupnosti a bodem vadnutí (bod vadnutí = 100 %, BSD = 0%). Bod snížené dostupnosti byl stanoven jako 60 % hydrolimitu využitelné vodní kapacity, což je v prezentovaném případě cca 23 obj. %.
- měsíční úhrny srážek a úhrny za vegetační období
- index SPI (Standardized Precipitation Index) v časovém měřítku 1 – 3 měsíce. Bližší popis tohoto indexu je např. v publikaci WMO (2012), popřípadě Sönmez a kol. (2005). V publikaci WMO je uveden odkaz na volně šiřitelný program, pomocí něžž

Lze tento index ze zadaných měsíčních úhrnů srážek vypočítat a který byl použit v předložené práci.

- index SPEI (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index) v časovém měřítku 1 – 3 měsíce. Bližší popis metody je uveden např. v práci Potop, V. a kol. (2012). K výpočtu indexu SPEI byl použit po vložení srážkových a teplotních měsíčních údajů program dostupný na odkazu: <http://digital.csic.es/handle/10261/10002>
- standardizovaný index vlhkosti půdy – obdobně jako SPI byl nově zkonstruován tento index, jehož cílem je vyjádřit závažnost dané průměrné měsíční vlhkosti půdy v kontextu všech vlhkostních stavů naměřených pro tento měsíc za celé zpracované období. Byl použit stejný výpočetní program jako pro SPI, pouze místo srážek byly vloženy údaje o průměrné vlhkosti obou vrstvách. Nevýhodou je výpočet založený na poměrně krátkém pozorovacím období v porovnání s časovými řadami srážkových úhrnů, výhodou stejný rozměr jako indexy SPI a SPEI.



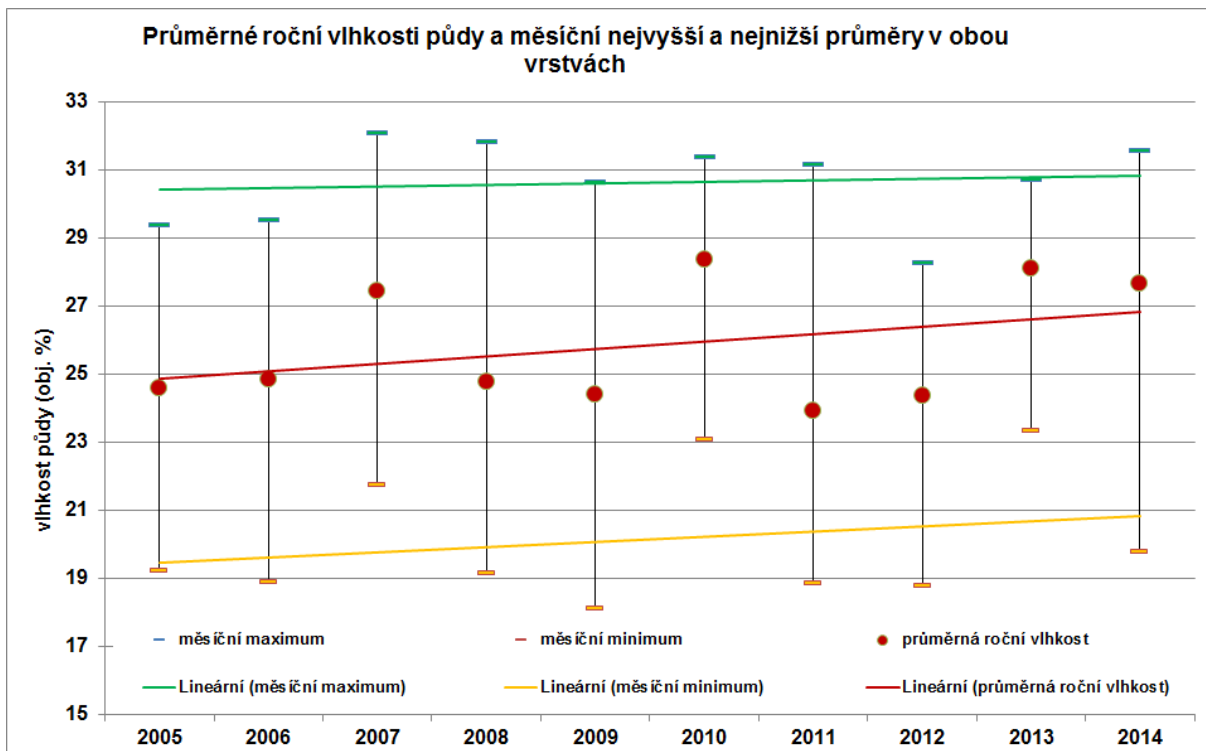
Obr. 1 VIRRIBLOGGER nainstalovaný na měřícím pozemku po 10-ti letech činnosti

Výsledky a diskuse

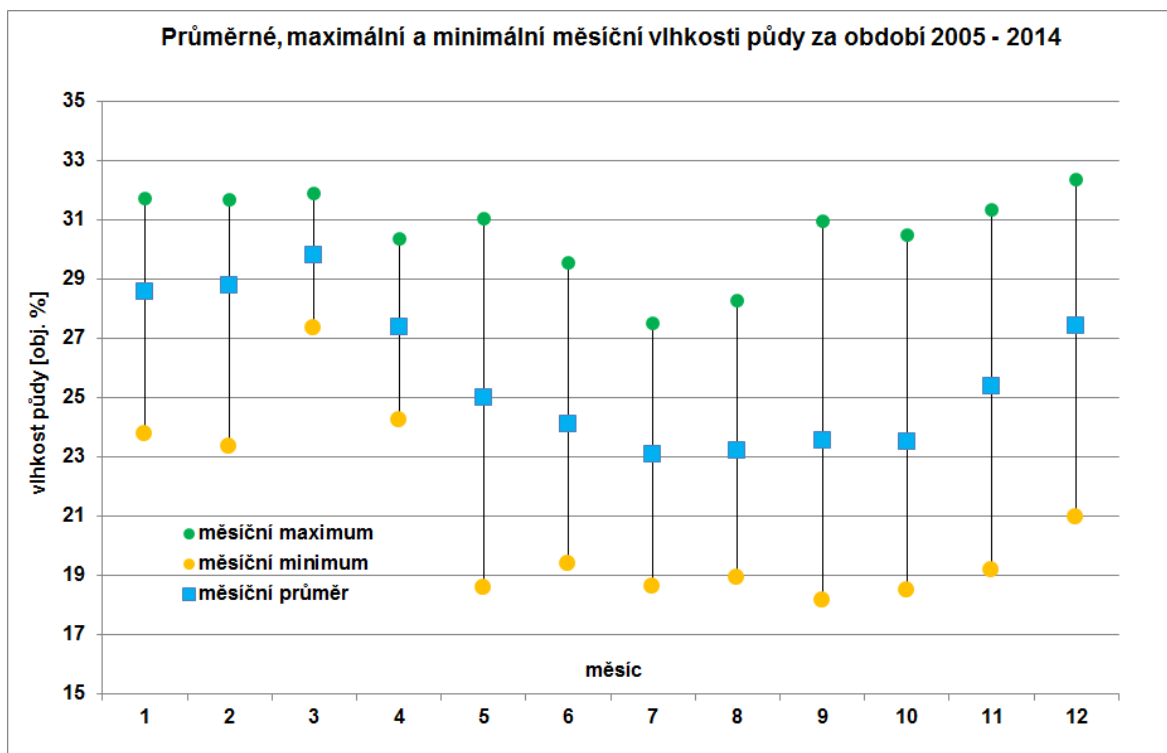
Na obr. 2 jsou znázorněny průměrné vlhkosti půdy v jednotlivých letech včetně nejvyšší a nejnižší průměrné měsíční vlhkosti v daném roce. Ukazuje se, že průměrné půdní vlhkosti se pohybují v poměrně úzkém intervalu několika objemových procent, přičemž nejnižší hodnota byla 24 obj. % a nejvyšší 28 obj. %. Je to dáno tím, že většinou v mimovegetačním období dojde k nasycení půdy na hodnotu blízké polní vodní kapacitě, nejnižší hodnoty se vyskytují pouze během několika letních měsíců, v nichž se může projevit jejich variabilita. Nejvyšší průměrná roční vlhkost byla naměřena v roce 2010, který se vyznačoval poměrně vlhkým létem, nejnižší v letech 2011 a 2012 s nízkými úhrny srážek nejen v létě, ale i v mimovegetačním období, což ovlivnilo výsledný průměr. Za povšimnutí však stojí hodnota nejvyšší průměrné měsíční vlhkosti v konkrétním roce, která se většinou pohybuje kolem hodnoty 30 obj. %, což značí, že téměř v každém roce došlo k nasycení půdního profilu do uvedené hloubky na hodnotu polní vodní kapacity. Výjimkou byl rok 2012, kdy vlivem suššího mimovegetačního období nedošlo k úplnému nasycení půdního profilu. Téměř jednotná hladina maximálních měsíčních vlhkostí půdy je důležitá i pro posouzení správné činnosti jednotlivých snímačů. Rovněž nejnižší průměrné měsíční vlhkosti v jednotlivých letech vykazují poměrně malou variabilitu a signalizují, že ve většině ze sledovaných let se vyskytl alespoň jeden měsíc, v němž byly vlhkosti půdy hluboko pod bodem snížené dostupnosti.

Obdobný graf, ale tentokrát pro měsíční průměrné, maximální a minimální vlhkosti půdy v jednotlivých kalendářních měsících zpracovaného desetiletého období, zprůměrované pro obě vrstvy, je na obr. 3. Nejvyšší průměrné hodnoty jsou dosahovány v březnu a v tomto měsíci je zároveň i nejmenší variační rozpětí mezi nejsušším a nejvlhčím měsícem. Od dubna se zásoba vláhy v průměru snižuje až do července a pak v podstatě až do října se udržuje na přibližně konstantní úrovni. K doplňování zásob půdní vláhy opětovně dochází až od listopadu a pokračuje až do jarních měsíců. Naopak největší variační rozpětí je v měsících květnu a září, které mohou být jak suché, pokud v předchozím období byl nedostatek srážek, tak i mimořádně vlhké, pokud byl srážek naopak nadbytek a přispívá k tomu i skutečnost, že se nacházejí na okraji vegetačního období, kdy většinou bývá i nižší evapotranspirace. V letních měsících, především v červenci a srpnu, ve zpracovaném desetiletí nedošlo k plnému nasycení půdního profilu do měřené hloubky po dostatečně dlouhou dobu, aby se to projevilo tak, že by měsíční průměr dosáhl hodnoty polní vodní kapacity. I při vydatných deštích došlo k rychlé spotřebě zvýšenou evapotranspirací části této

vody a tím i ke snížení měsíčního průměru. Naproti tomu nejnižší průměrné měsíční vlhkosti se udržují na přibližně stejné úrovni od května do listopadu.

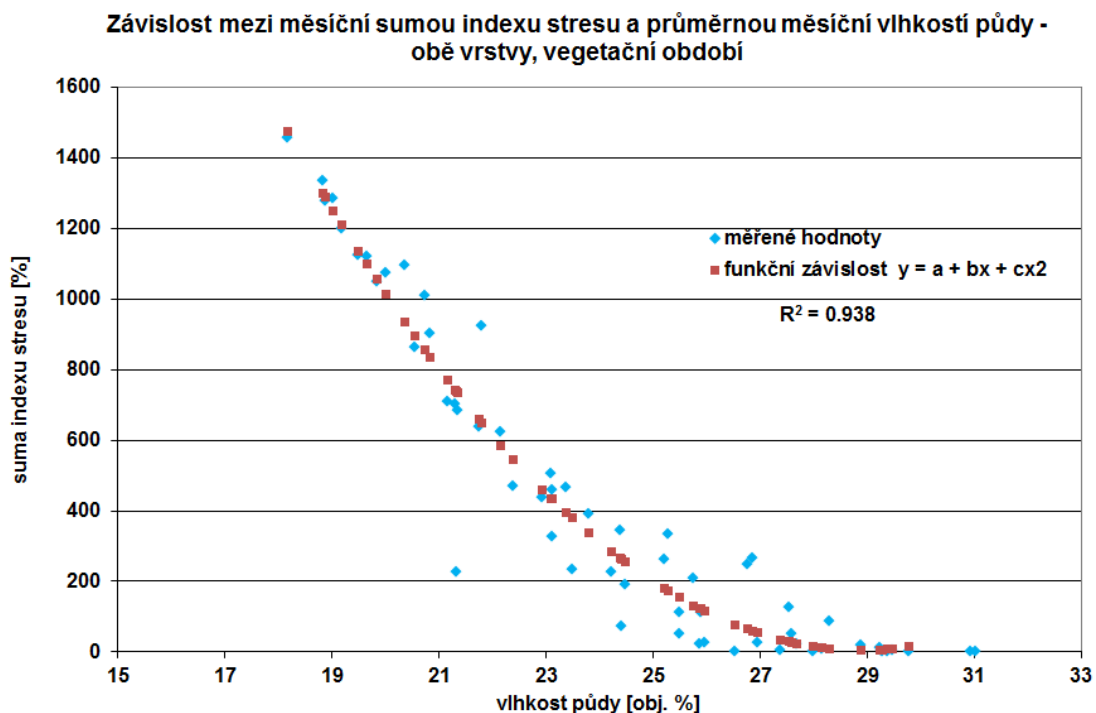


Obr. 2



Obr. 3

Pokud jde o vztah mezi průměrnou měsíční vlhkostí půdy v obou vrstvách a velikostí indexu stresu, stanoveného z denních průměrných hodnot vlhkostí půdy, je z obr. 4 zřejmé, že se jedná o poměrně těsný vztah, který lze nejlépe vyjádřit jednou větví paraboly. Při nižších vlhkostech je závislost těsnější, s jejich nárůstem dochází k jejímu snížení. Je to dáno tím, že při nízkých vlhkostech je vliv případných srážek minimální, se zvyšující se vlhkostí však mohou nastat stavy, kdy je část měsíce suchá a narůstá index stresu, a část ovlivněna případnými výraznějšími srážkami. Použití indexu stresu je tak schopno lépe zachytit tyto vlhkově rozdílné stavy v průběhu měsíce.



Obr. 4

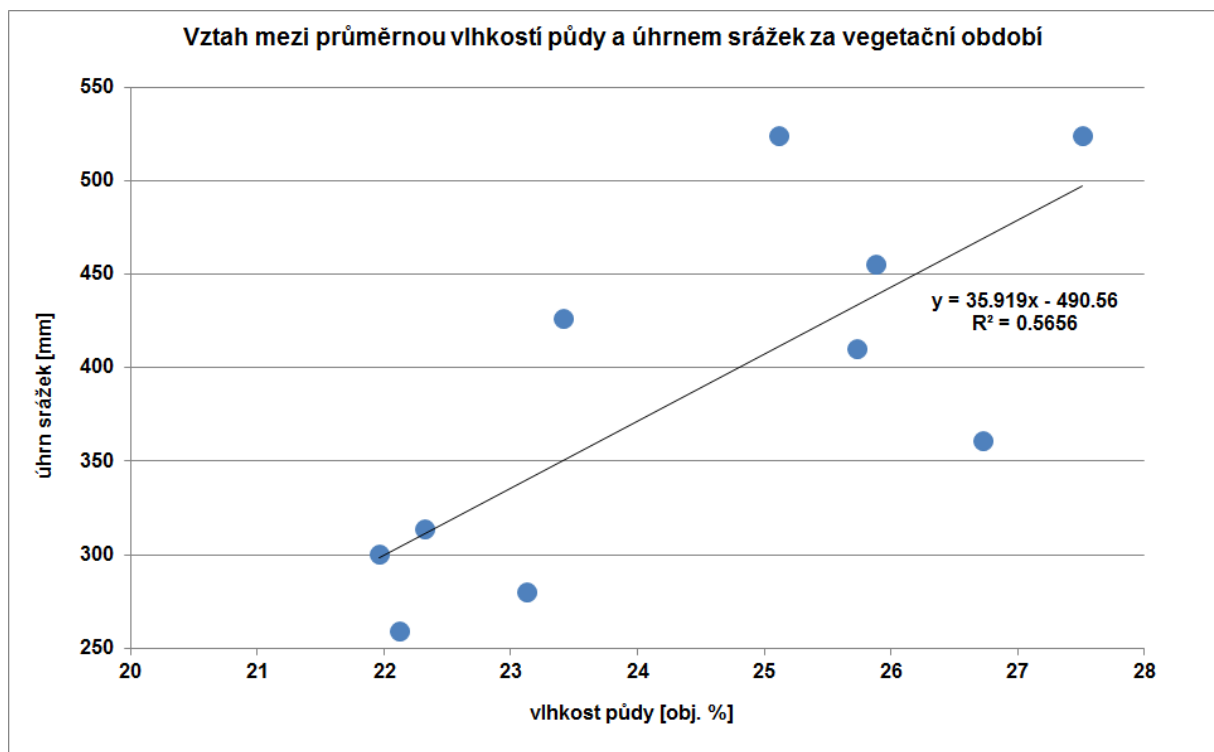
Jelikož v mimovegetačním období je omezena evapotranspirace a půdní vlhkost poměrně vysoká, přičemž lze předpokládat, že závislost mezi ní a srážkovými charakteristikami bude poměrně nízká, omezili jsme se v dalším zpracování výhradně na vegetační období (IV. – IX.), v němž vykazuje půdní vlhkost největší variabilitu.

Na obr. 5 je vynesena závislost mezi průměrnou vlhkostí půdy za toto období a úhrnem srážek. V tomto případě je zde závislost zřejmá, přestože je poněkud volnější a koeficient determinace dosahuje hodnot pouze 0,57. Schopnost půdy zadržovat určité množství vody je zde vyvážena delším časovým obdobím srážek a umožňuje vyrovnávat případné výkyvy v nerovnoměrnosti jejich výskytu.

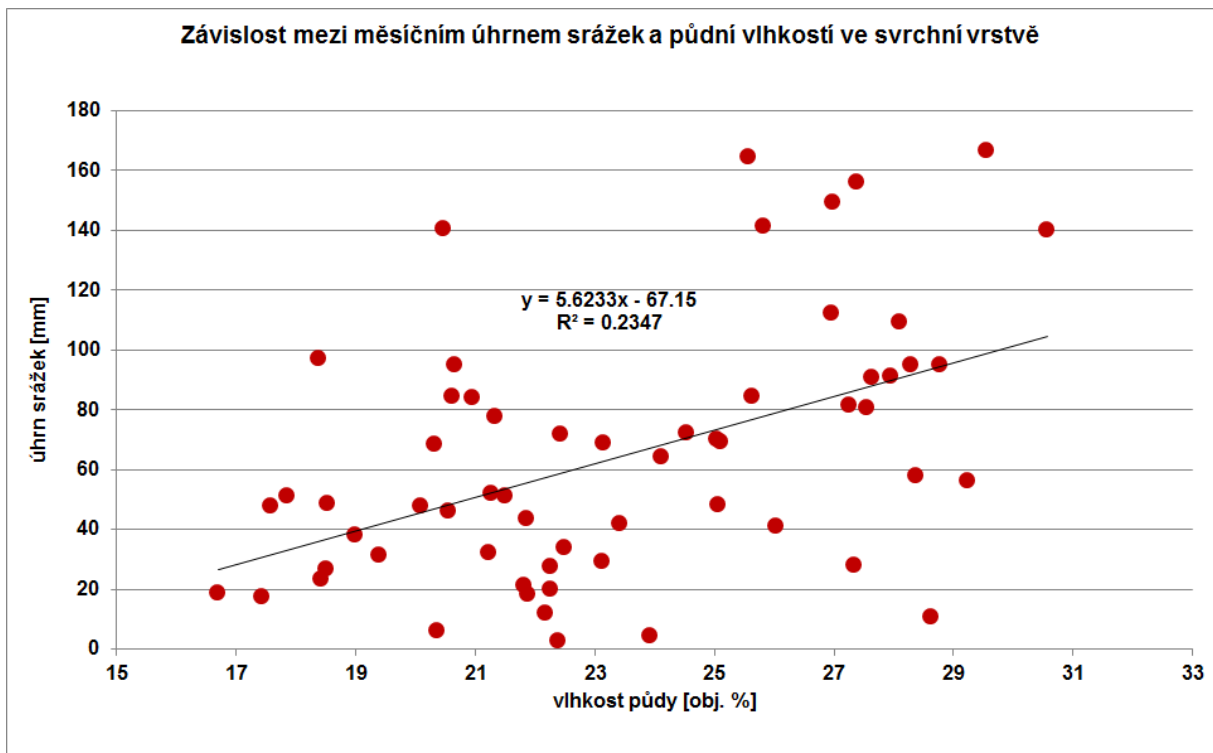
Při zkracování období až na jednotlivé měsíce je z obr. 6 zřejmé, že závislost mezi půdní vlhkostí a srážkami se stává volnější zejména při vyšších vlhkostech půdy. Při nejnižších vlhkostech ještě platí, že jsou do určité míry spojeny s nižšími úhrny srážek, avšak vyšší průměrná měsíční vlhkost půdy se může vyskytnout jak při vysokých úhrnech srážek, tak i při nízkých, kdy je v půdě ještě dostatečná zásoba vody z předchozích měsíců.

Podobně jako u srážek je poměrně nízká závislost mezi průměrnou měsíční půdní vlhkostí a indexy SPI a SPEI, jak je zřejmé z obr. 7 a 8. Nejtěsnější závislost v obou případech je pro časové měřítko jednoho měsíce, u SPI i dvou měsíců, avšak pro časové měřítko tří měsíců je závislost již téměř neměřitelná. Za povšimnutí stojí skutečnost, že lineární závislosti proložené jednotlivými body protínají ve všech případech osu vlhkostí půdy, která tvoří hranici mezi srážkově vlhkými a suchými měsíci, v hodnotě kolem 24 obj. %, což je v poměrně dobré shodě se zvolenou hodnotou bodu snížené dostupnosti 23 obj. %.

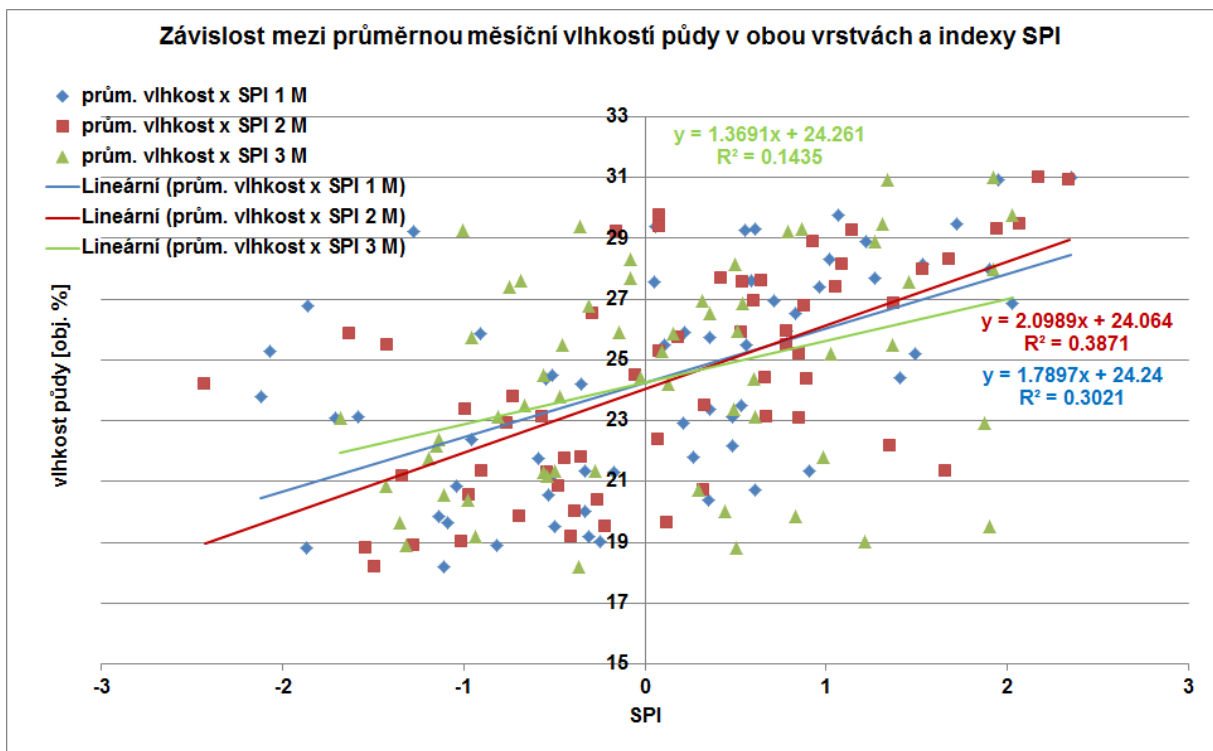
Sims a kol. (2002) uvádějí pro obdobné porovnání mezi SPI a hodnotami půdní vlhkostí těsnější vztah, půdní vlhkost však byla měřena pouze v hloubce 10 cm, v níž lze předpokládat rychlejší odezvu na případný výskyt anebo nedostatek srážek než u námi porovnávaných hloubek.



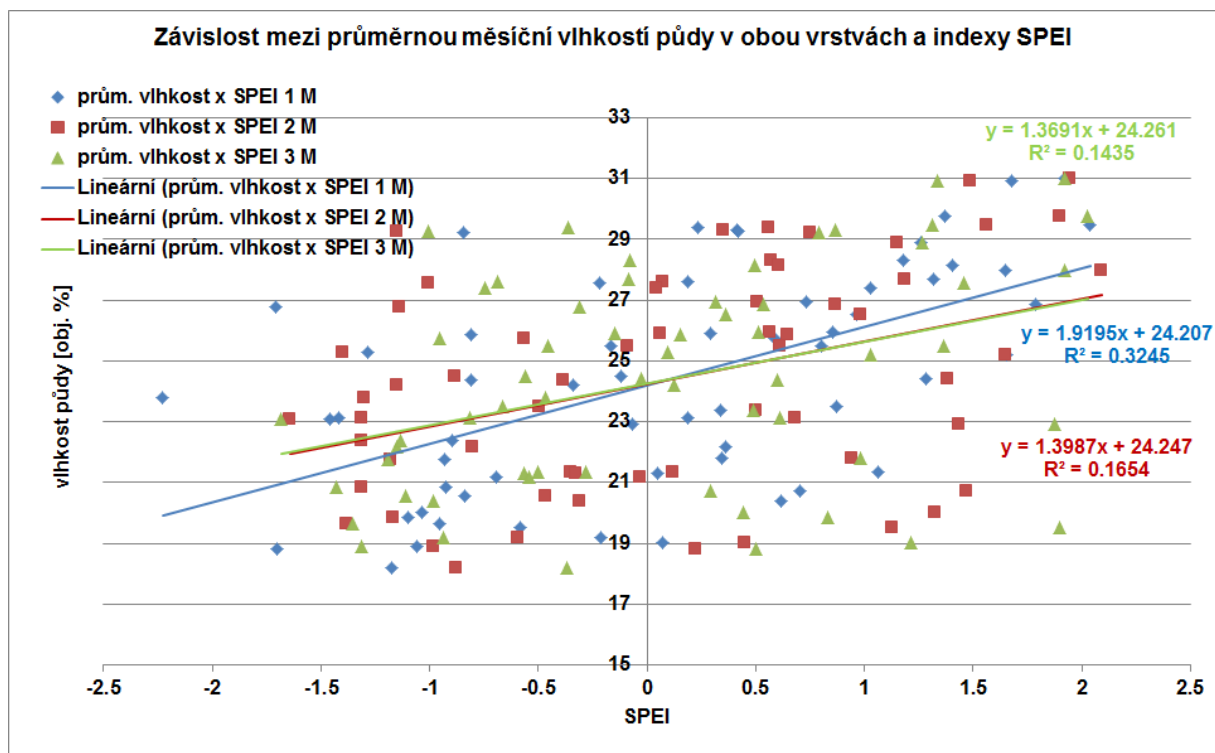
Obr. 5



Obr. 6



Obr. 7



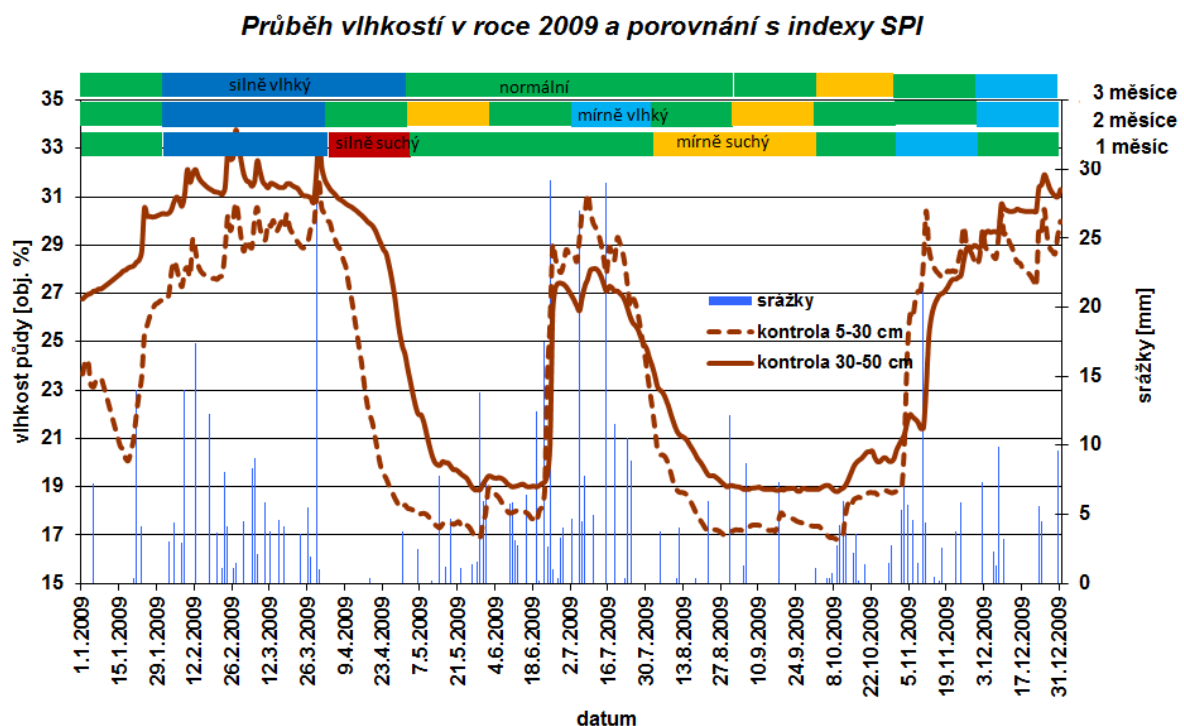
Obr. 8

Porovnání skutečně naměřených půdních vlhkostí v obou vrstvách s vypočítanými indexy SPI pro časové měřítko 1 – 3 měsíců pro rok 2009, jež se vyznačoval poměrně nízkými vlhkostmi půdy v celém hodnoceném období, je na obr. 9. Jako nejsušší měsíc byl podle SPI v časovém měřítku 1 měsíce vyhodnocen duben, jenž měl skutečně poměrně nízké úhrny srážek, avšak následoval po poměrně vlhkých zimních měsících, kdy zásoba vláhy byla ještě v blízkosti polní vodní kapacity. Naopak následující dva měsíce, v nichž došlo k výraznému poklesu půdních vlhkostí, byly vyhodnoceny jako srážkově normální. Po vlhkém červenci následovaly měsíce srpen až září s nízkými vlhkostmi, podle SPI klasifikované jako mírně suché. K doplnění vláhy v půdě došlo až v podzimních a zimních měsících.

Jak vyplývá z výše uvedených skutečností, nepodařilo se prokázat dostatečně těsnou závislost mezi půdní vlhkostí, vyjádřenou v objemových procentech, a některou ze srážkových charakteristik. Pokusili jsme se proto pomocí standardizace těchto vlhkostí s ohledem na jejich průměrnou hodnotu a variabilitu je přetransformovat na hodnoty obdobné SPI a SPEI. Pravidelně sušší měsíc tak bude i v případě nižších objemových vlhkostí označen jako normálně vlhký apod.

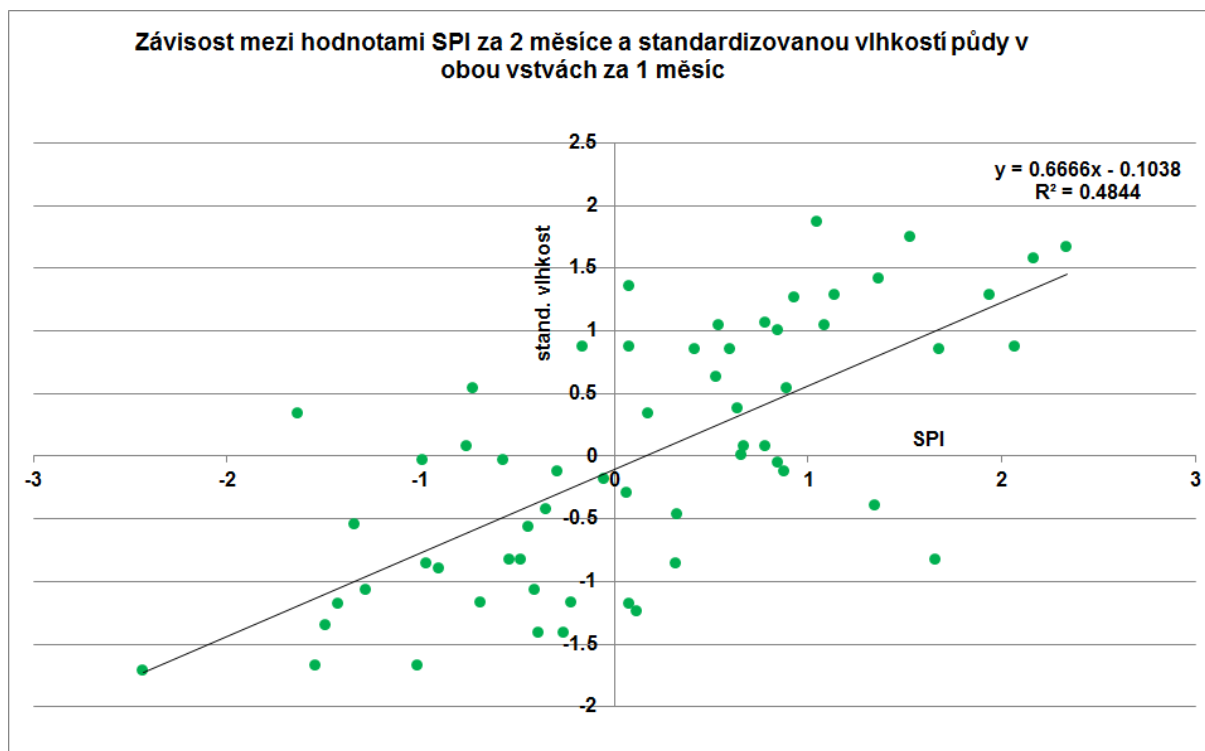
Z provedených vzájemných korelací mezi indexy SPI, SPEI a standardizovanou vlhkostí pro časové měřítko 1 – 3 měsíce vyplynulo, že nejtěsnější je tato závislost pro hodnoty SPI s časovým měřítkem 2 měsíce a standardizovanou průměrnou vlhkostí pro obě vrstvy

s časovým měřítkem 1 měsíc. Z obr. 10 je zřejmé, že tato závislost je podstatně těsnější než v případě prosté závislosti mezi SPI a půdní vlhkostí vyjádřenou v objemových procentech. Signalizuje to, že déletrvalejší období s podnormálními úhrny srážek se projeví i v nižších vlhkostech půdy než je obvyklé a naopak. Zároveň to dokládá i určité časové zpoždění mezi výskytem srážek a změnou půdní vlhkostí. Za povšimnutí určitě stojí, že koeficient determinace nevykazoval těsnější vazbu mezi standardizovanou půdní vlhkostí a indexem SPEI. Zde byl nejtěsnější mezi SPEI a standardizovanou vlhkostí v časovém měřítku jednoho měsíce, kde dosáhl hodnotu 0,33.



Obr. 9

Porovnání hodnocení jednotlivých měsíců za vegetační období jednotlivých let pomocí SPI a indexu standardizovaných vlhkostí půdy je v tab. 2. V některých měsících panuje poměrně dobrá shoda, dobře je např. vystiženo suché období v dubnu a květnu roku 2012, vlhké období od srpna v roce 2014 apod. Pro některé měsíce se naopak hodnocení rozcházejí, např. květen 2007 podle hodnocení půdní vlhkosti nepatřil k velmi suchým, sušší byl spíše předcházející duben.



Obr. 10

Závěr

Z předloženého příspěvku je zřejmé, že v případě, kdy půdní vlastnosti umožňují optimální zasakování a hospodaření s vláhou, a v klimatických podmínkách, v nichž převládá evapotranspirace nad srážkami, je vazba mezi srážkami, popřípadě indexy SPI a SPEI, a půdní vlhkostí v měsíčním kroku, málo těsná. U indexů založených na srážkách, popřípadě srážkách a evapotranspiraci, se očekává, že jsou schopny reflektovat podmínky meteorologického sucha. Agronomické sucho, závisující do značné míry na půdní vlhkosti, může mít z důvodu schopnosti půdy akumulovat určité množství vody odlišný průběh, jenž je determinován vlastnostmi půdy. Jejich prostorová a časová variabilita může způsobit, že předložené závislosti se mohou případ od případu lišit, zejména pak u mělkých anebo utužených půd.

Poněkud větší shody mezi SPI a charakteristikami půdní vlhkosti se dosáhne při transformaci průměrných měsíčních vlhkostí půdy obdobným způsobem, jakým jsou stanoveny hodnoty SPI. Pak i nízká vlhkost půdy, vyskytující se v daném místě a období pravidelně, je vyhodnocena jako normální jev, přestože pěstované rostliny trpí nedostatkem vláhy.

Tab. 2. Porovnání hodnocení jednotlivých měsíců vegetačního období pomocí SPI a indexu standardizované půdní vlhkosti

rok/měs.	Klasifikace podle SPI 2 měs.					
	4	5	6	7	8	9
2005	-0.29	0.78	-0.22	0.85	1.66	0.07
2006	2.07	1.68	0.54	-0.39	1.37	0.85
2007	0.08	-1.63	1.09	0.89	-0.35	0.93
2008	0.08	0.18	-0.44	-0.9	-0.54	-0.41
2009	0.88	-1.01	0.32	1.05	0.12	-1.49
2010	0.08	2.17	1.94	0.67	0.78	0.53
2011	0.64	-0.05	-0.97	-0.26	-0.48	-1.28
2012	-2.43	-1.54	0.66	1.35	-0.57	-1.34
2013	-0.16	0.42	1.14	-0.73	-0.99	0.6
2014	-1.42	0.33	-0.69	-0.76	1.53	2.34

rok/měs.	Klasifikace podle indexu standard. vlhkosti 1 měs.					
	4	5	6	7	8	9
2005	-0.13	0.08	-1.17	1	-0.83	-0.3
2006	0.87	0.85	1.04	-1.41	1.41	-0.06
2007	-1.18	0.34	1.04	0.54	-0.43	1.26
2008	0.87	0.34	-0.57	-0.9	-0.83	-1.07
2009	-0.13	-1.68	-0.86	1.87	-1.24	-1.35
2010	1.35	1.57	1.28	0.08	1.06	0.63
2011	0.38	-0.19	-0.86	-1.41	-0.83	-1.07
2012	-1.72	-1.68	0	-0.4	-0.04	-0.55
2013	0.87	0.85	1.28	0.54	-0.04	0.85
2014	-1.18	-0.47	-1.17	0.08	1.75	1.66

	mimořádně suchý
	velmi suchý
	mírně suchý
	normální
	mírně vlhký
	velmi vlhký
	mimořádně vlhký

Kromě celkového měsíčního úhrnu srážek hraje důležitou roli i velikost jednotlivých dešťů, srážky malé vydatnosti nezasahují hlouběji do půdy a nezvyšují její vlhkost, většinou slouží k navlhčení povrchové vrstvy půdy z níž se vypaří, zejména pak v případě pravidelně kultivovaných plodin u nichž kořinky nedosahují až k povrchu. U trvalých kultur s vegetačním pokryvem meziřadí jsou tyto srážky jím spotřebovány a jak ukazuje zpracovaný případ, do hlubších vrstev, v nichž se případně nalézají kořeny pěstované kultury, se dostávají jenom při vydatnějších deštích.

Literatura

- Bedrna, Z. a kol (1989): Pôdne režimy. Veda, SAV Bratislava, 224 s., ISBN 80-224-0028-9.
- Hunt, E. D. a kol. (2008): The development and evaluation of a soil moisture index. Int. J. Climatol., nestr.
- Potop, V. a kol.(2012): Využití standardizovaného srážkového evapotranspiračního indexu pro hodnocení vegetačního období v České republice. Meteorologické zprávy, 65, s. 112 – 120
- Sims, A. P. a kol. (2002): Adopting drought indices for estimating soil moisture: A North Carolina case study. Geophysical Research Letters, Vol. 29, 4s.
- Sönmez, F., K. a kol. (2005): An Analysis of Spatial and Temporal Dimension of Drought Vulnerability in Turkey Using the Standardized Precipitation Index. Natural Hazards 35, s. 243–264
- Standardized Precipitation Index. User Guide. (2012) WMO-No. 1090, ISBN 978-92-63-11091-6, 16 s.
- Tolasz, R. (2007): *Atlas podnebí Česka: Climate atlas of Czechia*. 1. vyd. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 255 s. ISBN 978-80-86690-26-1.

Poděkování

Príspevek vznikl s podporou výzkumného úkolu NAZV QJ1210305 Integrovaná ochrana proti plísni bramboru v nových agroenvironmentálních podmínkách s využitím prognózy výskytu choroby a na základě nových poznatků o změnách v populacích patogena a procesech rozkladu hlíz

Kontakt:

RNDr. Tomáš Litschmann, PhD.

AMET

Žižkovská 1230

691 02 Velké Bílovice

tel. 731702744, e-mail amet@email.cz